

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:
DISEÑO DE ARREGLO DE ANTENAS MICROSTRIP CON CONDUCTOR
CURVO PARA ONDAS MILIMÉTRICAS

AUTOR:
CÉSAR MIGUEL CASA CHICAIZA

TUTOR:
LENIN WLADIMIR AUCATOMA GUAMÁN

Quito, marzo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo César Miguel Casa Chicaiza, con documento de identificación N° 1723076822, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO DE ARREGLO DE ANTENAS MICROSTRIP CON CONDUCTOR CURVO PARA ONDAS MILIMÉTRICAS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, marzo del 2021



.....
César Miguel Casa Chicaiza
CI: 1723076822

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, DISEÑO DE ARREGLO DE ANTENAS MICROSTRIP CON CONDUCTOR CURVO PARA ONDAS MILIMÉTRICAS realizado por César Miguel Casa Chicaiza, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2021



Lenin Wladimir Aucatoma Guamán
C.C.: 1717985830

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a mis padres y hermanos quienes son los que me apoyaron durante toda esta etapa donde he logrado alcanzar uno de mis objetivos, siendo los que han visto lo duro que he trabajado para alcanzar una de las metas.

En segundo lugar, al ingeniero Lenin Aucatoma, quien fue mi tutor que me apoyo durante el desarrollo del tema, además, agradezco de su paciencia, y espemero por apoyarme en todo momento.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres quienes me apoyaron en todo momento, siendo la guía que me ha permitido cumplir con mis objetivos y seguir avanzando en la vida, a todos los docentes que aportaron su conocimiento para despertar mi enteres en aprender más de los temas actuales, en si a toda la Universidad Politécnica Salesiana por inculcar valores que se deben practicar para ser buenos profesionales y personas que ayuden a la comunidad.

Diseño de arreglo de antenas Microstrip con conductor curvo para ondas milimétricas

1st Aucatoma Guamán Lenin Wladimir

Ingeniería Electrónica

Docente Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

laucatoma@ups.edu.ec

2nd Casa Chicaiza César Miguel

Ingeniería Electrónica

Universidad Politécnica Salesiana

Quito, Ecuador

ccasac@est.ups.edu.ec

Resumen- En el presente documento se han desarrollado arreglos de antenas, primero se diseñó la antena microstrip con conductor curvo que opera en la banda milimétrica, en particular a la frecuencia de 60GHZ, los arreglos que se han propuesto son de 2, 3 y 4 antenas del mismo tipo formando arreglos lineales o matriciales siendo alimentados por una misma fuente y se ha seleccionado diferentes tipos de materiales para observar el comportamiento de las mismas. Para determinar los cambios de los arreglos frente a la antena original se utilizará ciertos parámetros como: coeficiente de reflexión (S11), relación de onda estacionaria (VSWR o ROE), patrón de radiación, entre otras características relevantes que puedan ser de utilidad. Los diseños se realizarán a través del software ANSYS HFSS que es una herramienta en el cual se puede diseñar y simular cualquier tipo de antena o arreglo de antena, además posee una librería de materiales que se puede asignar al diseño.

Abstract- In this paper antenna arrays have been developed, first the microstrip antenna was designed with curved conductor that operates in the millimeter band, in particular at the frequency of 60GHZ, the arrays that have been proposed are 2, 3 and 4 antennas of the same type forming linear or matrix arrays being fed by the same source and different types of materials have been selected to observe the behavior of the same. To determine the changes of the arrays compared to the original antenna, certain parameters will be used such as: reflection coefficient (S11), standing wave ratio (VSWR or SWR), radiation pattern, among other relevant characteristics that may be useful. The designs will be made through ANSYS HFSS software, which is a tool that can be used to design and simulate any type of antenna or antenna array, and also has a library of materials that can be assigned to the design.

I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones de quinta generación (5G), se consideran como el sucesor de las comunicaciones de cuarta generación (4G), técnicamente la tecnología 5G supone una mejora a la anterior generación en las siguientes tres características: velocidad de acceso (segmentos de subida y bajada); tiempo que tarda en viajar una señal de la base al receptor y viceversa; densidad de conexión o número de dispositivos que el sistema puede atender simultáneamente bajo ciertas condiciones. La tecnología 5G sigue la tendencia de ofrecer velocidades superiores de hasta 20 veces mayor que 4G, situando a las redes móviles en el rango de los Gigahertz, algo que solo se podía lograr en los sistemas de fibra óptica [1]. La principal característica de la quinta generación es el uso de frecuencias entre 24 y 86 GHz [2], estas frecuencias se las denominan ondas milimétricas, permitiendo enlaces de corto alcance y muy altas velocidades. Un inconveniente de estas frecuencias es la atenuación por pérdidas de propagación en el espacio libre, para compensar este problema es necesario implementar antenas de mejores características con alta directividad, ganancia y otras características que permitan la conexión de los dispositivos. La banda de frecuencia con mayor opción es la que se encuentra libre de licenciamiento (ISM), y alrededor de 60 GHz [3].

Las antenas microstrip o antenas impresas de tipo parche, consiste en un elemento radiante construido con un material conductor, dispuesto sobre un sustrato. Este tipo de antenas tiene la capacidad de integrarse en cualquier tipo de superficie plana o irregulares, la geometría del parche conductos impreso que da lugar a la antena puede variar. Cuadrada, rectangular, circular o en forma de tiras son las configuraciones más típicas por la facilidad de análisis y fabricación [4].

II. DISEÑO DE LA ANTENA Y ARREGLO

La antena propuesta para desarrollar los arreglos es un parche formado por dos conductores curvos elípticos concéntricos que se encuentran unidos por líneas microstrip, el sustrato y el GND son de forma rectangular como se observa en la figura 1. Para el presente trabajo se seleccionó esta forma por que presenta una polarización circular. Las antenas con este tipo de polarización son utilizadas para aplicaciones móviles [5]. Esta antena se utilizará como base para diseñar arreglos de 2, 3 y 4 elementos

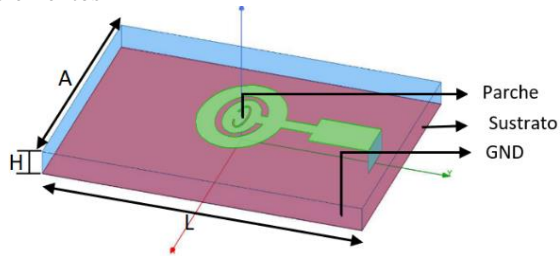


Figura 1. Prototipo de antena microstrip con conductor curvo elíptico concéntrico

Los métodos de alimentación a las antenas microstrip se pueden separar en dos grandes grupos, los métodos de contacto y los de no contacto, para este diseño se utilizará el método de contacto el cual consiste en usar un elemento conductor que una el parche a la fuente de alimentación, este tipo de alimentación de contacto se denomina por línea microstrip, y es uno de los más utilizados por su facilidad de fabricación además que es simple de modelar y fácil de acoplar mediante el control de la posición donde se inserta [6].

El tipo de arreglo que se seleccionó es del tipo lineal, los arreglos lineales son aquellos en los que sus elementos se encuentran colocados físicamente a lo largo de una misma línea, separada entre cada uno de ellos a una distancia equidistante [7].

Con este tipo de diseño se obtiene arreglos altamente directivos. Con el aumento del ancho del arreglo, el haz central se hace más estrecho, y los lóbulos laterales se harán más pequeños con el aumento de elementos. Otra característica que influye en el apareamiento de lóbulos laterales es la separación física entre los elementos. Para evitar la aparición de lóbulos laterales y mantener una alta directividad por el ancho de haz estrecho, se debe aumentar el número de elementos del arreglo, pero manteniendo una distancia mínima entre cada antena [8].

Arreglo planar o bidimensional se considera como una combinación de arreglos lineales los elementos se encuentran distribuidos a lo largo y ancho de la superficie, la separación puede ser simétrica o puede variar dependiendo del resultado

que se desea [9], este tipo de arreglo presenta una ventaja para el desplazamiento del lóbulo principal en comparación con el arreglo lineal, además que presenta patrones más simétricos con menos lóbulos laterales.

El sustrato que se utilizara para desarrollar los diseños debe cumplir las condiciones necesarias para que aporte al funcionamiento de la antena, idealmente, la constante dieléctrica debe ser menor a 2.5 [12], la tecnología ha permitido a la industria desarrollar varios tipos de materiales que han mejorado la constante dieléctrica entre ellos se encuentra el Roger RT/duroid 5880 y Teflón.

El parche, las líneas de transmisión y GND estarán formado por metales con diferente conductividad, el utilizar diferentes metales para formar al parche cambiara el comportamiento de este, el aumento de la conductividad de la antena favorece a la ganancia [13]. Los metales que se utilizara son aluminio, cobre y oro.

Ya seleccionada la forma del parche curvo, el método de alimentación, el tipo de arreglo y los materiales que lo conforman, se detallará la construcción de cada uno de los modelos y se procederá a realizar su simulación en el software ANSYS HFSS.

A. Antena microstrip

Como se observa en la figura 1 y 2, el parche formado por dos conductores curvos elípticos concéntricos que se encuentran unidos por líneas microstrip, las dimensiones y los materiales que lo forman se detallan en la tabla 1.

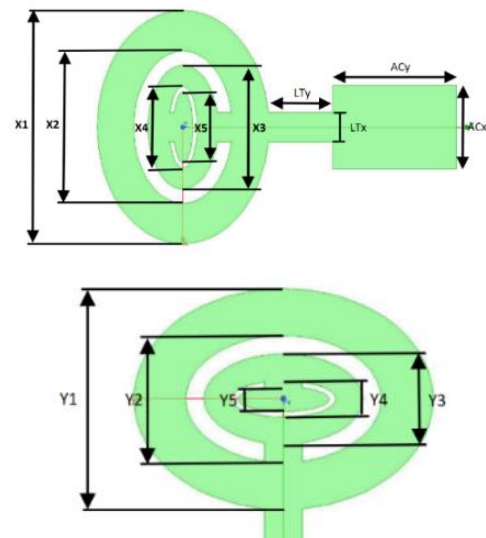


Tabla 1. Medidas y materiales de antena prototipo

Diseño de Antena Microstrip			
Parte	Símbolo	Medida[mm]	Material
Dieléctrico	L	6.4745	Teflón
	A	4.8	
	H	0.508	
Tierra (GND)	L	6.4745	Cobre
	A	4.8	
Parche	X1	2.3	Oro
	X2	1.5	
	X3	1.22	
	X4	0.8	
	X5	0.7	
	LTy	0.63	
	LTx	0.2862	
	ACy	1.22	
	ACx	0.8225	
	Y1	1.7	
	Y2	0.975	
	Y3	0.6941	
	Y4	0.28	
	Y5	0.196	

Las características del dieléctrico utilizado en la primera antena se los puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Características de dieléctrico

Dieléctrico	Teflón
Constante dieléctrica	2.2
Factor de disipación	0.0009

B. Arreglo lineal uno (2x1)

Este primer arreglo lineal está formado por dos antenas idénticas separadas a la misma distancia respecto al punto de alimentación, como se observa en la figura 3, las dimensiones de los cortes internos de la antena han variado para que sean capaces de sintonizarse a la frecuencia de resonancia. Los cambios se los observa en la tabla 3.

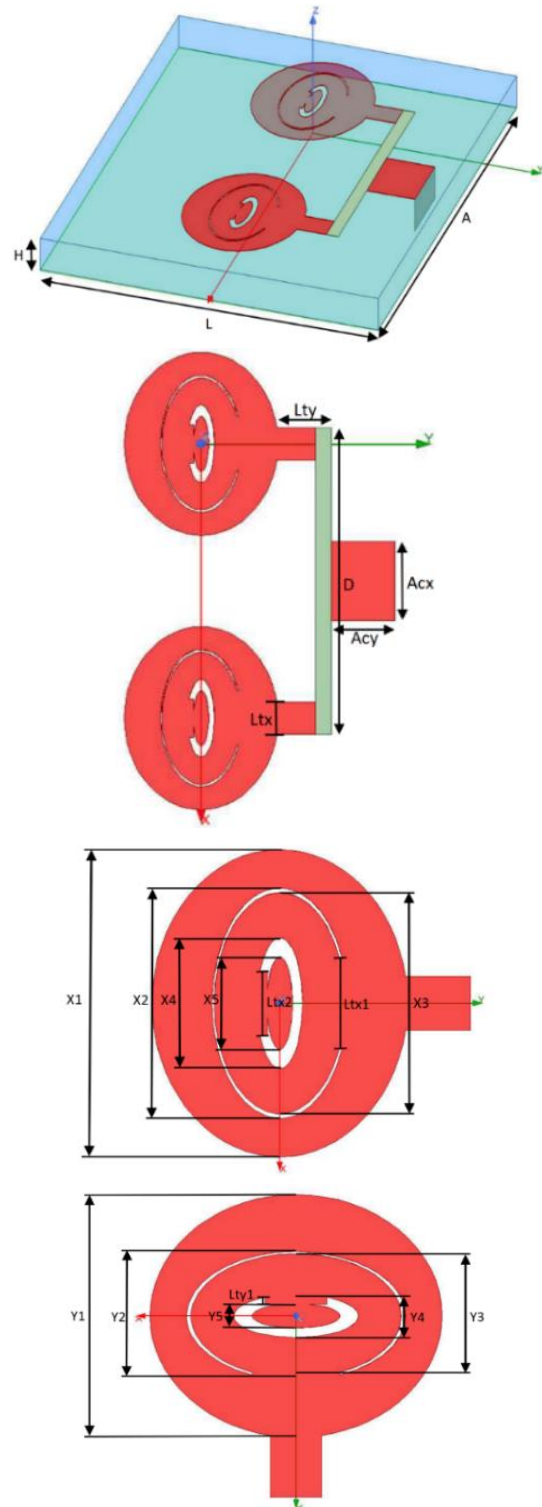


Figura 3. Medidas del prototipo de arreglo lineal uno con antena microstrip con conductor curvo elíptico concéntrico

Tabla 3. Medidas y materiales de arreglo lineal uno

Diseño de arreglo lineal uno (2x1)			
Parte	Símbolo	Medida [mm]	Material
Dieléctrico	L	4.87	Teflón
	A	3	
	H	0.507	
Tierra (GND)	L	4.87	Cobre
	A	3	
Parche 1 y 2	X1	2	Oro (Parche1) Cobre (Parche2)
	X2	0.75	
	X3	0.72	
	X4	0.425	
	X5	0.3	
	Y1	1.67	
	Y2	0.442	
	Y3	0.428	
	Y4	0.148	
	Y5	0.084	
	Ltx1	0.598	
Línea de alimentación	Ltx	0.349	Oro
	Lty	0.584	
	D	3.349	
Acople	Acx		Cobre
	Acy		

La tabla 2 presenta las propiedades del sustrato que utilizará el arreglo lineal uno.

C. Arreglo lineal dos (3x1)

Este arreglo está formado por tres antenas idénticas la primera y segunda están separadas a la misma distancia, la tercera antena se encuentra en medio de la antena uno y dos, su línea de transmisión es más larga que el de la antena uno y dos, en la figura 4 se observa como ha quedado el arreglo lineal 3x1. Las medidas y materiales de este diseño se pueden observar en la tabla 4.

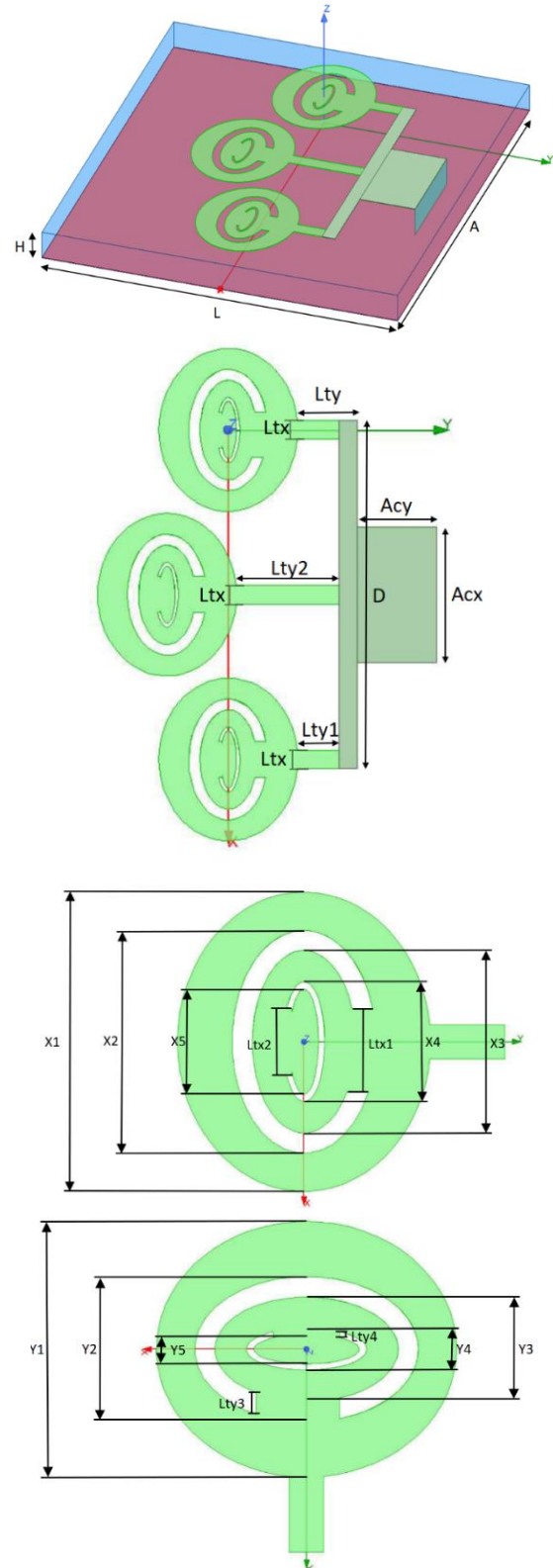


Figura 4. Medidas del prototipo de arreglo lineal dos con antena microstrip con conductor curvo elíptico concéntrico

Tabla 4. Medias y materiales de arreglo lineal 3x1

Diseño de arreglo de 3x1			
Parte	Símbolo	Medida [mm]	Material
Dieléctrico	L	6.25	Roger RT/duroid 5880
	A	2.9	
	H	0.508	
Tierra (GND)	L	6.25	Cobre
	A	2.9	
Parche 1, 2 Y3	X1	2	Aluminio (Parche1 y 3) Oro (Parche2)
	X2	0.745	
	X3	0.61	
	X4	0.4	
	X5	0.35	
	Y1	1.7	
	Y2	0.484	
	Y3	0.347	
	Y4	0.14	
	Y5	0.098	
	Ltx1	0.56	
	Ltx2	0.445	
	Lty3	0.138	
	Lty4	0.036	
Línea de alimentación	Ltx	0.23	Cobre
	Lty	0.73	
	Lty1	0.5	
	Lty2	2.1	
	D	4.28	
Acople	Acx	1.66	Cobre
	Acy	0.97	

La tabla 5 presenta las características del dieléctrico utilizado en el arreglo lineal 3x1.

Tabla 5. Características de dieléctrico

Dieléctrico	Roger RT/ duroid 5880
Constante dieléctrica	2.2
Factor de disipación	0.0004

D. Arreglo Matriz uno (2x2)

Para este diseño se colocaron cuatro antenas que ocupan la superficie del plano XY, la particularidad de este arreglo es que todos los parches se encuentran colocados en el mismo sentido, solo dos antenas se encuentran más separadas de la línea de alimentación, se lo puede observar en la figura 5. Las medidas y los materiales que lo conforman se encuentran en la tabla 6.

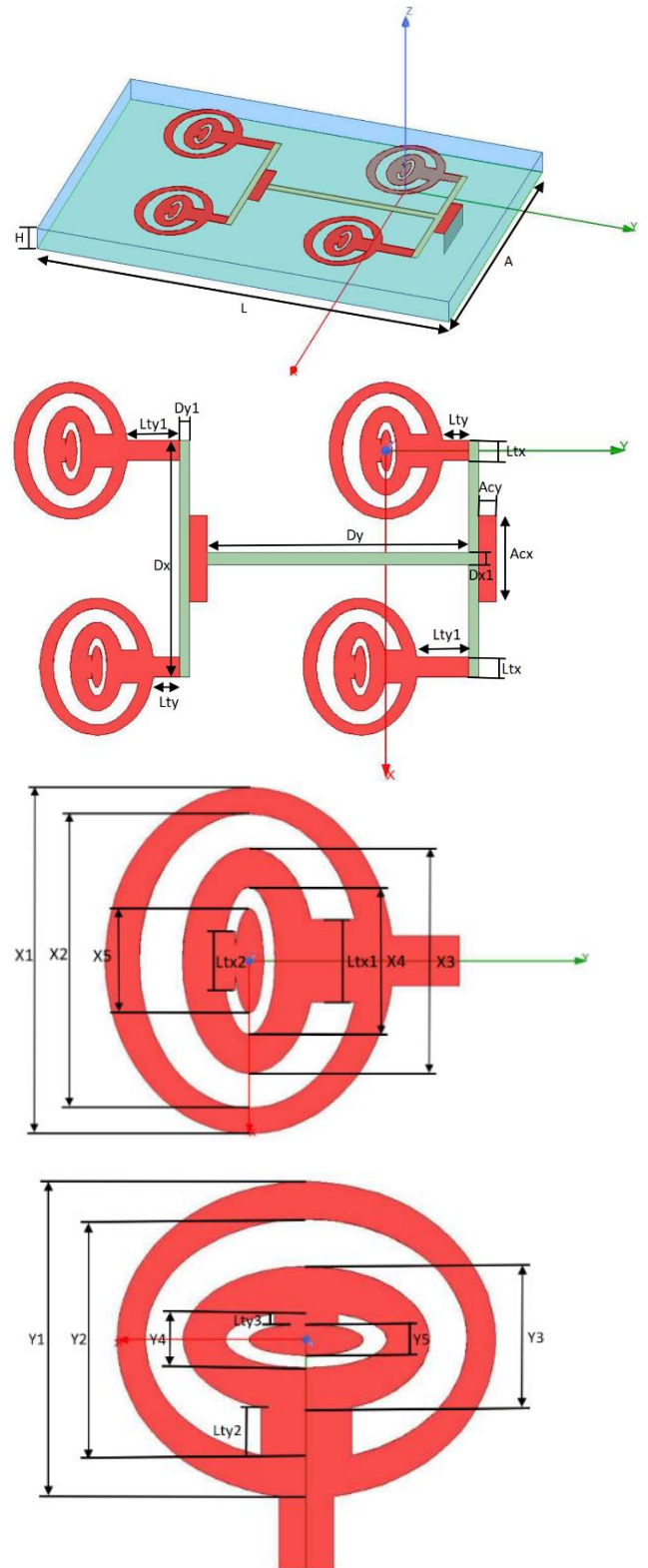
**Figura 5.** Medidas del prototipo de arreglo matriz uno con antena microstrip con conductor curvo elíptico concéntrico

Tabla 6. Medias y materiales de arreglo matriz uno
Diseño de arreglo matriz uno (2x2)

Parte	Símbolo	Medida [mm]	Material
Dieléctrico	L	5.15	Teflón
	A	3.22	
	H	0.507	
Tierra (GND)	L	5.15	Cobre
	A	3.22	
Parche 1, 2,3 y 4	X1	2	Cobre (Parche 1 y 3) Oro (Parche 2 y 4)
	X2	0.85	
	X3	0.65	
	X4	0.425	
	X5	0.3	
	Y1	1.67	
	Y2	0.637	
	Y3	0.387	
	Y4	0.148	
	Y5	0.84	
	Ltx1	0.48	
	Ltx2	0.335	
	Lty2	0.25	
Línea de alimentación	Ltx	0.29	Oro
	Lty	0.38	
	Lty1	0.76	
	Dx	3.45	
	Dx1	0.19	
	Dy	3.99	
	Dy1	0.145	
Acople	Acx	1.25	Cobre
	Acy	0.25	

El arreglo matriz uno usa teflón como material dieléctrico sus especificaciones se encuentran tabla 2.

E. Arreglo Matriz Dos (2x2)

Este diseño se encuentra formado por cuatro parches que se encuentran sobre el plano XY, los parches no se encuentran colocados en el mismo sentido, dos parches se encuentran más alejados de la línea de transmisión y se ha implementado una línea de alimentación con forma de T, la forma de este diseño se lo puede visualizar en la figura 6, las medidas se las puede observar en la tabla 7.

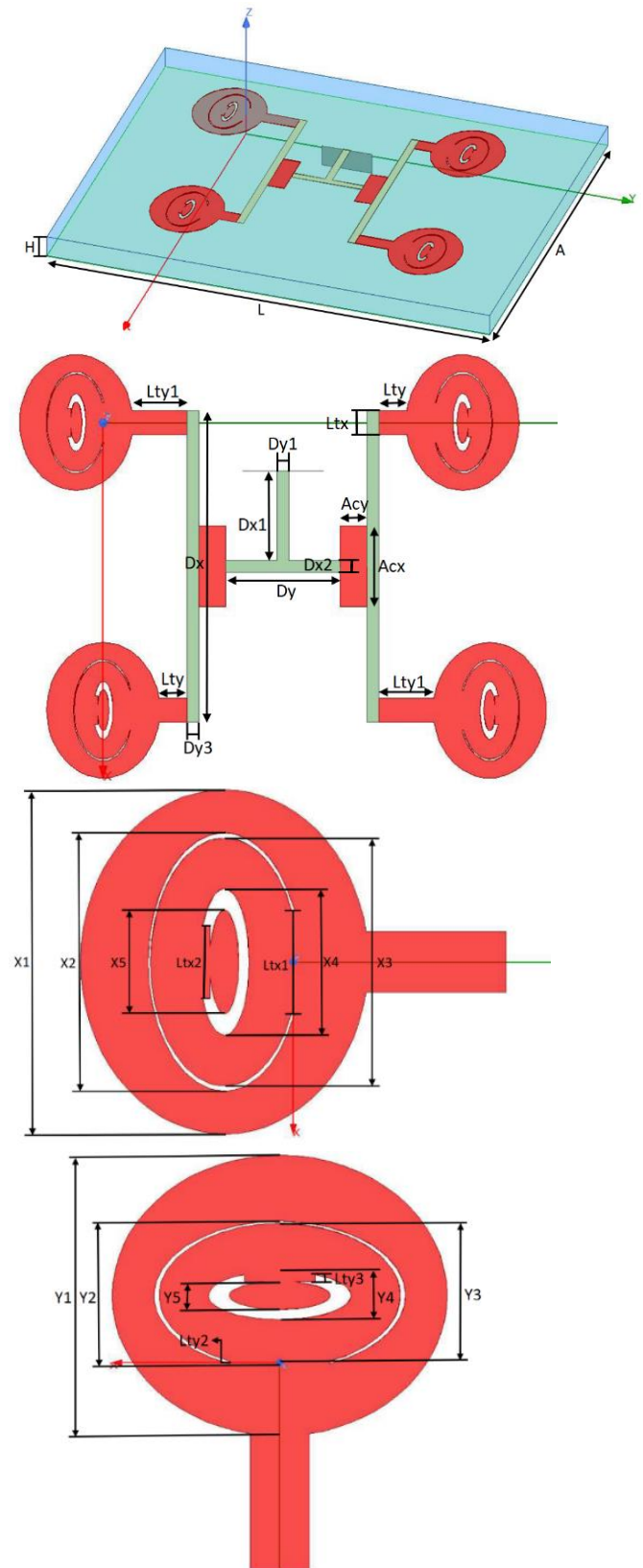


Figura 6. Medidas del prototipo de arreglo matriz dos con antena microstrip con conductor curvo elíptico concéntrico

Tabla 7. Medias y materiales de arreglo matriz dos

Diseño de arreglo matriz dos (2x2)			
Parte	Símbolo	Medida [mm]	Material
Dieléctrico	L	5.31	Teflón
	A	4.25	
	H	0.507	
Tierra (GND)	L	5.31	Cobre
	A	4.25	
Parche 1, 2,3 y 4	X1	2	Cobre (Parche 1 y 3) Oro (Parche 2 y 4)
	X2	0.75	
	X3	0.72	
	X4	0.425	
	X5	0.3	
	Y1	1.67	
	Y2	0.44	
	Y3	0.428	
	Y4	0.14	
	Y5	0.08	
	Ltx1	0.598	
	Ltx2	0.423	
	Lty2	0.016	
	Lty3	0.04	
Línea de alimentación	Ltx	0.349	Oro
	Lty	0.4	
	Lty1	0.8	
	Dx	4.25	
	Dx1	1.325	
	Dx2	0.174	
	Dy	1.691	
	Dy1	0.174	
Acople	Acx	1.19	Cobre
	Acy	0.4	

El arreglo matriz dos usa teflón como material dieléctrico sus especificaciones se encuentran tabla 2.

III. SIMULACIÓN Y RESULTADOS

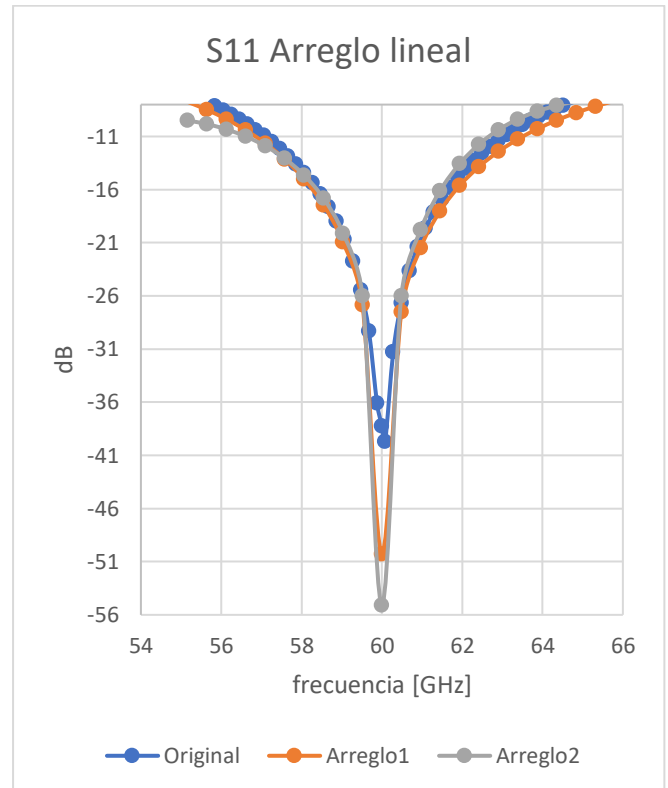
Los parámetros que se utilizarán para observar los cambios serán el Coeficiente de reflexión (Parámetro S11), Relación de onda estacionaria (VSWR) y Patrón de radiación. Se utilizará los resultados de la antenna original para observar los cambios al desarrollar los arreglos lineales y matriciales.

A. Coeficiente de reflexión (S11)

El coeficiente de reflexión hace referencia a las pérdidas por retorno (S11) describiendo cual es la relación que existe entre los puertos de entrada y salida indicando cuanta potencia se refleja desde la

antena, el mínimo valor será de -10 dB para que presente un rendimiento eficiente en la antenna, cuanto menor sea este valor (S11), el rendimiento de la antenna debe mejorar [10].

En la figura 7 se observan los cambios que se producen desde la antenna Original (Azul), pasando por el Arreglo 1 (Naranja) que está formado por dos parches idénticos, y terminando por el Arreglo 2 (Plomo) el cual está formado por tres parches iguales.

**Figura 7.** Resultado del parámetro S11 de la antenna y los arreglos lineales

Para la frecuencia de 60GHz se presenta los siguientes resultados que se observan en la tabla 8, entre la antenna Original y el Arreglo 1, hay una diferencia de -12.03 dB, mientras que para la antenna Original y el Arreglo 2 (Plomo) la diferencia es de -16.84 dB. Si solo comparamos los resultados entre el Arreglo 1 y el Arreglo 2 la diferencia es de apenas -4.84 dB.

Tabla 8. Resultados de Coeficiente de reflexión a 60 GHz Arreglos lineales

S11[dB]	
Antena	-38,25
Arreglo 1	-50,28
Arreglo 2	-55,09

Si se compara los resultados entre la Antena Original y el arreglo 1, 2 se observa que, si existe un

cambio significativo al aumentar antenas idénticas en un arreglo lineal, pero al revisar cuanto es el cambio entre el Arreglo 1,2 la diferencia que existe es mínimo.

Para determinar cuál es el ancho de banda de cada resultado obtenido la figura 7 del parámetro S11 permite cuantificar el ancho de banda de cada simulación. Para el análisis se consideró -10dB como referencia en la tabla 9 se observan los siguientes resultados.

Tabla 9. Resultados de ancho de banda

	Frecuencia		BW [MHz]	BW [%]
	Máxima	Mínima		
Antena	63,45	56,71	6740	11,23
Arreglo 1	64,04	56,42	7620	12,7
Arreglo 2	63,08	55,81	7270	12,11

El Arreglo 1 que está formado por dos antenas el ancho de banda aumenta de 1.47% respecto a la Antena original, mientras que el Arreglo 2 formado por tres parches ha aumentado en 0.88% respecto a la antena original.

Para los arreglos matriciales (2x2) la figura 8 presenta los resultados comparando a la antena original con los otros arreglos matriciales. Como se observa a la frecuencia de 60GHz el arreglo matricial dos 2x2 presenta el menor resultado para coeficiente S11, indicando un excelente rendimiento frente a la antena original.

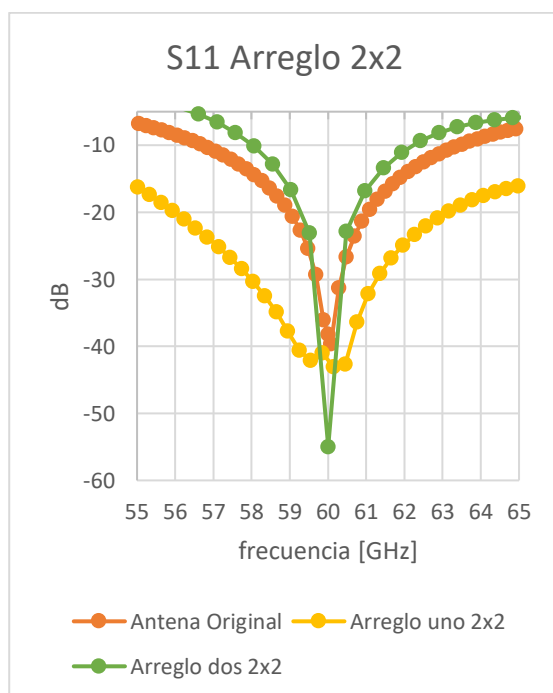


Figura 8. Resultado del parámetro S11 de la antena y los arreglos matriciales

En la tabla 10 a la frecuencia de 60 GHz se tiene los siguientes resultados del parámetro S11, para estos diseños el arreglo matricial dos (verde) presenta una diferencia de -16.74 dB respecto a la antena original (naranja), comparando el arreglo matricial uno (amarillo) con la antena original se tiene una diferencia de -3.78 dB.

Tabla 10. Resultados de Coeficiente de reflexión a 60 GHz Arreglos Matriciales

S11[dB]	
Antena	-38,25
Arreglo matriz 1	-42.03
Arreglo matriz 2	-54.99

El ancho de banda para los arreglos matriciales se utilizará los mismo -10dB, los resultados se observan en la tabla 11

Tabla 11. Resultados de ancho de banda

	Frecuencia		BW [MHz]	BW [%]
	Máxima	Mínima		
Antena	63,45	56,71	6740	11,23
Matriz 1	71,43	52,6	18830	31,38
Matriz 2	62,24	58,03	3940	7,016

El arreglo matriz uno presenta un ancho de banda 20.15% respecto a la antena original, en el arreglo matriz dos sucede lo opuesto el ancho de banda se reduce en 4.22% respecto a la antena original.

B. Relación de Ondas Estacionaria (ROE o VSWR)

Este parámetro permite establecer que tan acoplada se encuentra una carga a su fuente de alimentación. Si una carga está bien acoplada su VSWR será igual a 1. Una carga que no acoplada significa que refleja por completo produciendo un VSWR infinito. En los casos prácticos este parámetro se debe encontrar entre 1 y 2 [11]. En la figura 9 se observa los siguientes resultados.

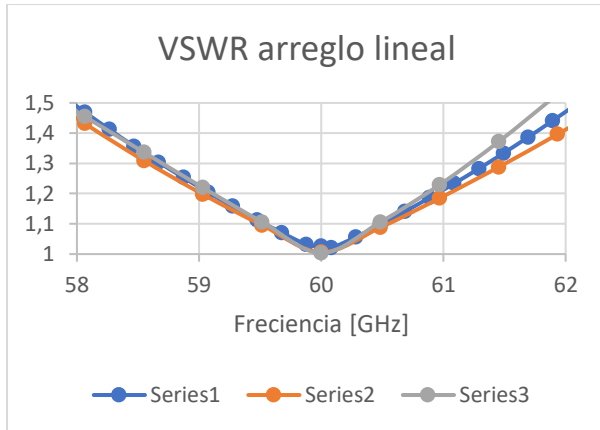


Figura 9. Relación onda estacionaria de la antena y arreglo lineal de antenas

En la tabla 12 a la frecuencia de 60 GHz se observa los resultados de VSWR. El aumentar antenas iguales siguiendo un solo eje ha permitido al VSWR aproximarse a 1, si se observaba el mejor resultado es cuando está formado con 3 antenas su valor es de 1.003 que es inferior al de la antena original.

Tabla 12. Resultados VSWR

	VSWR [dB]	VSWR
Antena	0,22	1,02565193
Arreglo 1	0,0531	1,00613209
Arreglo 2	0,0305	1,00351761

Para los arreglos matriciales se obtienen los siguientes resultados en la figura 10.

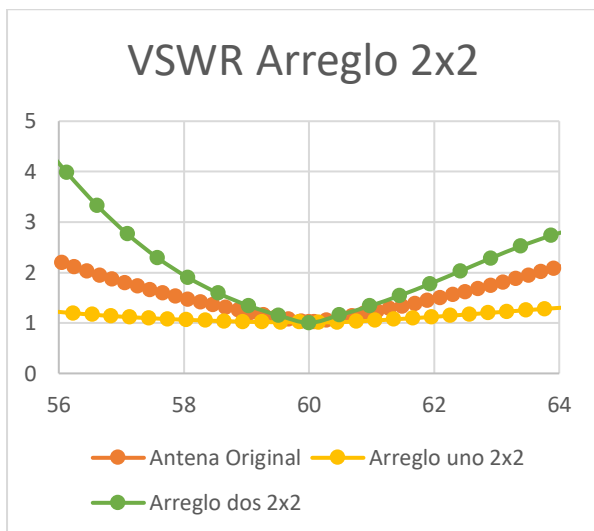


Figura 10. Relación onda estacionaria de la antena y arreglo matricial de antenas

En la tabla 13 se detalla los resultados obtenidas a la frecuencia de 60 GHz, el mejor resultado es para el arreglo matricial dos donde se acerca a la unidad.

Tabla 13. Resultados VSWR

	VSWR [dB]	VSWR
Antena	0,22	1,02565193
Arreglo matriz 1	0,14	1,01624869
Arreglo matriz 2	0,0309	1,00356687

C. Patrón de radiación

En la figura 11 se presenta el resultado del patrón de radiación de la Antena Original y los arreglos 1,2. El cambio en cada patrón es por la presencia de los parches adicionales que están formando los arreglos lineales.



Figura 11. Patrón de radiación de la antena y arreglo lineal de antenas

Para determinar que tan directiva es la antena o el arreglo de antenas se toma una medida de lóbulo principal, se reduce -3dB y se mide el ancho de haz este parámetro indica lo directivo de la antena o arreglo de antenas. En tabla 14 se observa los resultados de la simulación.

Tabla 14. Resultados de ancho de Haz arreglo lineal

	Ancho de Haz (-3dB)
Antena	100°
Arreglo 1	44°
Arreglo 2	48°

El patrón de radiación cambia entre más antenas se coloque para estos diseños son antenas idénticas colocados de forma lineal, al agregar dos antenas (Arreglo 1) el resultado es un ancho de haz menor al de la antena original indicando que la antena es más directiva, al aumentar una antena adicional (Arreglo

2) aumenta un poco el ancho de haz, este resultado puede ser por la separación que existe entre las antenas ya que influye en la forma que sus patrones individuales se suman para formar su patrón de radiación total.

Los resultados de la ganancia de los arreglos lineales se los detalla en la tabla 15, el uso de dos o tres antenas presenta un aumento de la ganancia de 4 a 5 dB.

Table 15. Resultado de ganancia arreglos lineales

Ganancia [dB]	
Antena	6,6
Arreglo 1	10,1
Arreglo 2	11,3

Para los arreglos matriciales el posicionamiento de cuatro antenas idénticas en direcciones iguales o puestas en un plano modificando la forma de irradiar, los resultados se observan en la figura 12.

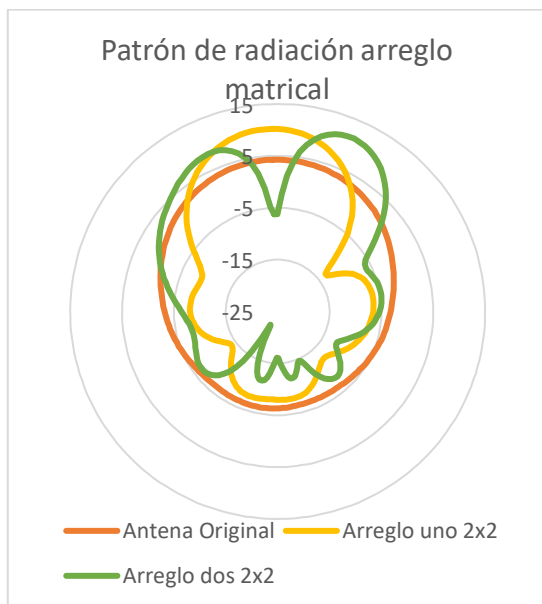


Figura 12. Patrón de radiación de la antena y arreglo matricial de antenas

En la tabla 16 se tiene los resultados de simulación de los arreglos matriciales. Las medias del ancho de haz se lo midieron a -30dB.

Tabla 16. Resultados de ancho de Haz matricial

Ancho de Haz (-3dB)	
Antena	100°
Arreglo matriz 1	44°
Arreglo matriz 2	26° y 30°

De los arreglos matriciales, todos están formados de 4 antenas el arreglo matriz 1 está formado por un solo lóbulo principal mientras que la matriz 2

presenta dos lóbulos donde sus haces son más estrechos.

Para la ganancia de los arreglos matriciales el resultado de utilizar 4 antenas se presenta en la tabla 17.

Table 17. Resultado de ganancia arreglo matricial

Ganancia [dB]	
Antena	6,6
Arreglo matriz 1	10,3
Arreglo matriz 2	12

El arreglo matricial 2 presenta un incremento de 5.4 dB frente a la antena original al colocar más antenas (en total 4) sobre un plano si existen cambios que favorecen a las características de la antena para este caso la diferencia que existe entre estos dos diseños matriciales es la posición en la que se encuentra colocada cada parche además de donde se coloca su punto de alimentación.

IV. ANÁLISIS

A. Análisis resultados de coeficiente de reflexión (S11) de arreglo lineal y matricial

En la tabla 18 se compara los resultados de los arreglos lineales y los matriciales que indica un cambio significativo en el comportamiento del coeficiente de reflexión respecto a la antena original, el rendimiento del arreglo lineal 2 destaca sobre los demás, el diseño está formado por tres parches idénticos una de las antenas se encuentra a una distancia del doble de las otras antenas ($L_{ty2}=2L_{ty1}$), además los otros dos parches se encuentren a la misma distancia del punto de alimentación, el grosor del sustrato es el mismo que el parche original, el acople es más ancho que el de la antena original, se utilizaron 3 tipos diferentes de material para formar los parches. Al utilizar el aluminio y oro para formar los parches y dejar los otros elementos de cobre indica un cambio notable sobre este parámetro. El uso combinado de varios metales además de las nuevas medidas que presentan los parche (conductores elípticos concéntricos) permiten alcanza este resultado.

Table 18. Análisis comparativo de resultados de S11

S11[dB]			
Antena	-38,25		
Arreglo lineal 1	-50,28	Arreglo matriz 1	-42,03
Arreglo lineal 2	-55,09	Arreglo matriz 2	-54,99

En la tabla 19 del resultado de ancho de banda, el arreglo matriz 1 presenta el mayor ancho de banda alrededor de 20.14% comparado con la antena

original, los demás arreglos lineales si presenta un aumento de este parámetro pero no es tan representativo, solo el arreglo de la matriz 2 presenta lo opuesto el ancho de banda es inferior a la antena original, el arreglo matriz 1 está formado por cuatro parches idénticos colocados en el mismo sentido formando una matriz 2x2 cabe indicar que dos parches se encuentran a una separación de $L_{ty1}=2L_{ty}$, el parche con conductor curvo elíptico concéntrico, si se lo considera como un parche solo elíptico al cual se le realizaron ranuras internas, provocaran cambios en el ancho de banda de las antenas ya que se estaría usando el aumento de ancho de banda por elementos parásitos o ranuras [14] y si lo complementamos con el de usar 3 antenas a 4 y de arreglo lineal a colocarse alrededor de una superficie presenta una gran cambio en el porcentaje del ancho de banda, en estos diseños siempre una o dos antenas no se encuentren a la misma altura.

Table 19. Análisis comparativo de Ancho de banda

BW [%]			
Antena	11,233		
Arreglo lineal 1	12,7	Arreglo matriz 1	31,38
Arreglo lineal 2	12,116	Arreglo matriz 2	7,0166

B. Análisis resultados de onda estacionaria (ROE o VSWR) de arreglo lineal y matricial

En la tabla 20 de los resultados que se aproximan a la unidad son: el arreglo lineal 2 y la matriz 2, en estos diseño los parches elípticos en sus dimensiones se han modificado, la línea de alimentación del arreglo lineal 2 es de aluminio su forma es de una cinta larga y recta, en el diseño de la matriz 2 se añadió una la línea de alimentación con forma de T invertida el material del cual está formado es oro, de los cuatro parches dos se encuentra colocado en sentido contrario, en la misma superficie dos de los parche se encuentran con una separación de $L_{ty1}=2L_{ty}$, el añadir 3 o 4 antenas a los arreglo presen resultados idénticos lo que los diferencia es la forma del arreglo (lineal y matricial).

Table 20. Análisis comparativo de VSWR

VSWR			
Antena	1,0256		
Arreglo lineal 1	1,0061	Arreglo matriz 1	1,0162
Arreglo lineal 2	1,0035	Arreglo matriz 2	1,0035

C. Análisis resultados del patrón de arreglo lineal y matricial

En la tabla 21 el uso de 2 y 4 antenas presenta un ancho de haz muy parecido, en el arreglo lineal 1 las dos antenas están a la misma altura con una línea de transmisión que en su centro se coloca el acople para que se una a la fuente de alimentación, en el caso del arreglo matricial 2 las antenas están colocadas a una altura del doble respecto a la otra ($L_{ty2}=2L_{ty1}$), pero en este diseño solo existe una línea de transmisión que une a las cuatro antenas, para este diseño la fuente no se ha colocado en el centro por donde se unen todas las antenas. En el diseño de la matriz 2 se tiene como resultado dos lóbulos, en forma individual son más directivos que los otros resultados, para este diseño además que las antenas no están colocadas en la misma dirección, la fuente de alimentación se encuentra en uno de los extremos de la línea de transmisión con forma de T, al colocarlo de esta forma existe un punto donde los campos no se han acoplado para formar un solo haz, pero han permitido que exista dos lóbulos que son más directivos.

Table 21. Análisis comparativo de ancho de haz

Ancho de Haz (-3dB)			
Antena	100°		
Arreglo lineal 1	44°	Arreglo matriz 1	44°
Arreglo lineal 2	48°	Arreglo matriz 2	26° y 30°

En la tabla 22 de ganancia el arreglo matriz 2 presenta una ganancia aproximada del doble de la antena original, al colocar las antenas sobre un plano presenta más ventajas que colocar antenas alrededor de un solo eje se tiene como resultado una superficie amplia donde se puede probar diferentes separaciones entre cada antena para que los campos individuales de cada una se sumen para formar un haz más directivo y la ganancia aumente, si nos referimos a los ejes del plano XY del arreglo matriz 2, la separación que existe en el eje X no es el mismo del eje Y

Table 22. Análisis comparativo de ganancia

Ganancia [dB]			
Antena	6,6		
Arreglo lineal 1	10,1	Arreglo matriz 1	10,3
Arreglo lineal 2	11,3	Arreglo matriz 2	12

V. CONCLUSIONES

Antenas con forma de conductor curvo elíptico concéntrico, se presentan como una opción para el diseño de arreglo de antenas lineales y matriciales para que trabaje en la banda milimétrica en particular a la frecuencia de 60GHz, cada diseño se desempeña mejor en algún parámetros de dispersión si hablamos del coeficiente de reflexión todos los arreglos superan a la antena original el resultado se lo observa en la tabla 18, en este caso el arreglo lineal 2 se destaca de los otros diseños, para el ancho de banda el arreglo matriz 1 es el que se destaca de los otros diseños el resultado se lo observa en la tabla 19, para el ROE o VSWR tanto los diseños lineales y matriciales del diseño arreglo lineal 2 y arreglo matriz 2 presenta un resultado muy parecido, este resultado se lo puede observar en la tabla 20, para la directividad existe dos arreglos que presentan resultados idénticos y uno que presenta dos lóbulos que de forma individual son los más directivos, el resultado se encuentra en la tabla 21, para la ganancia la matriz 2 presenta el mejor resultado.

Cada diseño de arreglo lineal y matricial utiliza un sustrato sea de Roger RT/ duroid 5880 o Teflón, estos materiales presentan un constante dieléctrica alrededor de 2.2, el ancho de cada material se encuentra entre 0.508mm y 0.507mm respectivamente, los materiales para el parche, la línea de transmisión y GND son Cobre, Aluminio y Oro el uso de cada uno se lo detallo en la sección anterior. Estos materiales presentan un adecuado funcionamiento en banda de onda milimétrica en particular para la frecuencia de 60GHz.

En cada uno de los diseños las dimensiones de los conductores curvos elípticos no son iguales no solo el colocar cada parche sea alrededor de un eje o en un plano indica que la antena trabajará a la frecuencia para la cual fue diseñado se tiene que seguir modificando cada una de las medidas para que el arreglo sintonice a la frecuencia de trabajo, para los arreglo de 3 y 4 antenas sea lineal o matricial tienen algo en común si se coloca una antena a una altura del doble de la otra esta tiende a sintonizar a la frecuencia de 60GHz.

REFERENCIAS

- [1] F. Vacas, «5G como oportunidad para la ruptura del duopolio en el mercado móvil,» Profesional de la Información, vol. 28, n° 6, pp. 7-8, 2019.
- [2] Unión Internacional de Telecomunicaciones, «Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos,» Ginebra, 2018.
- [3] G. Dinael, N. Andrés y G. Jorge, Estimación de canal MIMO en ondas milimétricas mediante motores de juegos y aceleración por hardware, Santa Marta: Editorial Unimagdalena, 2017.
- [4] M. Ferrando, «ANTENAS PARA DISPOSITIVOS MÓVILES 5G e IoT,» València, 2019.
- [5] A. Perron, T. A. Denidni y A. R. Sebak, «Polarized Microstrip/Elliptical Dielectric Ring Resonator Antenna for Millimeter-Wave Applications,» IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. IX, pp. 783-786, 2010.
- [6] C. Reicino, «Implementación de arreglos de antenas multibanda para la Quinta Generación Móvil,» 23 Junio 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/7884>. [Último acceso: 25 8 2020].
- [7] C. A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2016.
- [8] H. F. Bermúdez, E. Astaiza y L. Muños, «Cambios del patrón de radiación en arreglos lineales de dipolos de microcinta a 2,4 GHz en presencia de elementos parásitos,» Tecno Lógicas, vol. 18, n° 35, pp. 21-34, 2015.
- [9] D. Park Kim, «Diseño y simulación de un arreglo de antenas de microcintas con geometrías triangular y rectangular alimentadas por línea de transmisión para la banda de 2.4,» 30 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7304/1/T-UCSG-POS-MTEL-59.pdf>. [Último acceso: 14 Agosto 2020].
- [10] F. Mohammad, G. Abdul, R. Syed Zahidur, S. Md.OmarFaruk, H. Kazi Ishtiaq y B. Md.Bakey, «Return Loss and Gain Improvement for 5G Wireless Communication Based on Single Band Microstrip Square Patch Antenna,» de 1st International Conference on Advances in Science, Engineering and Robotics Technology 2019, Bangladesh, 2019.
- [11] R. Chaithanya y S. Suganthi, «Performance Analysis of Antenna with Different Substrate Materials at 60 GHz,» de 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, 2017.
- [12] G. Ramesh, B. Prakash, B. Inder and I. Apisak, "Microstrip Antenna Design Handbook," in Microstrip Antenna Design Handbook, Boston, Artech house, 2001, pp. 1-2.
- [13] K. Gurleen, S. Amarveer, M. Divesh, Prince, K. Avneet, P. Parth and S. Ekambir, "Performance Analysis of Conductive Patch Materials for the Design and Fabrication of Microstrip Patch Antennas," 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS), St Petersburg, pp. 502-508, 2017.
- [14] L. Kai-Fong y T. Kin-Fai, «Microstrip Patch Antennas—Basic Characteristics and Some Recent Advances,» Proceedings of the IEEE , vol. C, n° 7, pp. 2169-2180, 2012.